



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Patentschrift
⑩ DE 42 09 767 C 1

⑤1 Int. Cl.⁵:
B 22 F 3/02
B 30 B 11/02

②1 Aktenzeichen: P 42 09 767.3-24
②2 Anmeldetag: 23. 3. 92
④3 Offenlegungstag: —
④5 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 6. 5. 93

DE 42 09 767 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦3 Patentinhaber:

Mannesmann AG, 4000 Düsseldorf, DE

⑦4 Vertreter:

Meissner, P., Dipl.-Ing.; Presting, H., Dipl.-Ing.,
Pat.-Anwälte, 1000 Berlin

⑦2 Erfinder:

Hinzmann, Gerd, Dr.-Ing., 4057 Brüggen, DE; Nies,
Norbert, Dipl.-Ing., 4040 Neuss, DE; Günther,
Manfred, Dipl.-Ing., 8788 Bad Brückenau, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 29 51 716 C2

⑤4 Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von mehrstufigen Preßkörpern

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Presse zu dessen Durchführung zur Herstellung von mehrstufigen Preßkörpern aus pulverförmigen Material, welches in einen von einer Matrize umgebenen Formhohlraum (Füllvolumen) eingefüllt und durch relativ zueinander bewegliche Unterstempel und mindestens einen relativ auf die Unterstempel zu bewegten Oberstempel verdichtet wird, wobei die Menge des eingefüllten pulverförmigen Materials durch Korrektur des Füllvolumens auf einen Sollwert geregelt wird und wobei Sollwertabweichungen direkt oder indirekt automatisch ermittelt werden.

Damit Preßkörper trotz hoher Dichte und komplizierter Form mit hoher Sicherheit rißfrei erzeugt werden können, wird vorgeschlagen, daß die Korrektur des Füllvolumens zur Erzielung gleicher Dichte in den verschiedenen Stufen des Preßkörpers durch jeweils unterschiedlich starke Veränderung der Füllhöhen der einzelnen Unterstempel in der Weise erfolgt, daß die Verhältnismerte der korrigierten Füllhöhen in erster Näherung den Verhältnismerten der Soll-Höhen der jeweils zugeordneten Stufen im Preßkörper entsprechen.

DE 42 09 767 C 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zu dessen Ausführung, mit dem mehrstufige Preßkörper aus pulverförmigem Material, insbesondere aus Metallpulver, herstellbar sind gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Aus der DE 29 51 716 C2 ist eine Presse zur Herstellung von Preßkörpern aus Metallpulver mit einer Stufe bekannt. Um trotz einer sich in Grenzen verändernden Füllichte des verwendeten Metallpulvers Preßkörper mit möglichst konstanter Dichte und Höhe erzeugen zu können, ist in dieser Presse eine Füllmengenkorrektur vorgesehen. Das bedeutet, daß die Menge des eingefüllten Pulvers durch Veränderung des Einfüllvolumens so geregelt wird, daß die Preßkraft bis zum Erreichen der Preßendstellung der Preßstempel (Erreichen der Soll-Höhen der Stufen des Preßkörpers) innerhalb eines vorgegebenen Toleranzbereichs bleibt. Sobald eine unzulässig hohe Preßkraft in einem Preßzyklus festgestellt wird, erzeugt die Steuerung der Presse ein Signal, das im nächsten Preßzyklus eine Verminderung des Einfüllvolumens veranlaßt.

Hierzu wird die Matrizenoberkante des verwendeten Preßwerkzeugs gegenüber den Preßflächen der Unterstempel abgesenkt. Bei Unterschreitung des Soll-Preßkraftbereichs wird entsprechend umgekehrt verfahren. Die Veränderung des Abstandes zwischen den Preßflächen der Unterstempel und der Oberkante der Matrize wird allein durch eine entsprechende Justierung der Höhenlage der Matrize für den Füllvorgang bewirkt. Das hat zur Folge, daß bei Vorhandensein mehrerer Unterstempel die Korrektur der Einfüllhöhen über den einzelnen Preßflächen jeweils mit dem absolut gleichen Betrag vorgenommen wird.

Dieses bekannte Preßverfahren führt bereits zu einer wesentlichen Verbesserung im Hinblick auf die Gleichmäßigkeit der Eigenschaften der erzeugten Preßkörper. Unter bestimmten Umständen kann es jedoch auch bei diesem Verfahren zu unbefriedigenden Ergebnissen kommen. Dies ist insbesondere dann möglich, wenn kompliziert geformte Teile mit hoher Formgenauigkeit und gleichzeitig hoher Dichte (bei Eisenpulver z. B. mindestens 7 g/cm³) gepreßt werden sollen. In diesen Fällen kann es nämlich beim Ausformen der Preßkörper infolge von Dichteunterschieden und damit einhergehenden unterschiedlichen Spannungen zwischen den einzelnen Stufen des Preßkörpers zu Rissen kommen, die das Teil unbrauchbar machen.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren und eine Presse zu dessen Durchführung anzugeben, mit dem trotz hoher Dichte und komplizierter Form ein Preßkörper mit hoher Sicherheit rißfrei erzeugt werden kann.

Gelöst wird diese Aufgabe bei einem gattungsgemäßen Verfahren mit den kennzeichnenden Merkmalen des Patentanspruchs 1. Vorteilhafte Weiterbildungen des Verfahrens sind in den Unteransprüchen 2 bis 4 angegeben. Eine Presse zur Durchführung dieses Verfahrens weist die Merkmale des Patentanspruchs 5 auf. Zweckmäßige Ausgestaltungen dieser Presse sind durch die Merkmale der Unteransprüche 6 bis 9 gekennzeichnet.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, daß bei der bekannten Füllmengenkorrektur nur eine mittlere Dichte des Preßkörpers eingestellt wird und daß es unter kritischen Verfahrensbedingungen zu unzulässig hohen Dichteunterschieden im Preßkörper kommen kann.

Die Erfindung sieht als Abhilfe vor, die Füllhöhenkorrektur nicht für alle Stufen des mehrstufigen Preßkörpers mit dem gleichen Betrag auszuführen, indem allein die Matrize für den Einfüllvorgang in eine entsprechend korrigierte Höhenlage gebracht wird, sondern daß die Füllhöhen über den Preßflächen der einzelnen Unterstempel individuell korrigiert werden, wobei zumindest in einer ersten Näherung die einzelnen korrigierten Füllhöhen in einem Verhältnis zueinander stehen, das dem Verhältnis der Soll-Höhen der Stufen des Preßkörpers entspricht. Das bedeutet, daß der einzelne Korrekturbetrag um so größer ausfällt, je größer die Soll-Höhe der zugeordneten Stufe ist. Hierzu ist es erforderlich, die Matrizenoberkante im Abstand auf die Preßfläche eines feststehenden Unterstempels abzustimmen und die Preßflächen der übrigen (beweglichen) Unterstempel entsprechend der Lage der Matrizenoberkante in eine geeignete dazu relative Höhenposition (Füllposition) für den Füllvorgang zu bringen. Die hierfür erforderlichen Stellsignale werden von einer elektronischen Steuerung erzeugt, die Sollwertabweichungen der Dichte des Preßkörpers direkt oder indirekt automatisch nach oder während des Preßzyklusses ermittelt. Eine direkte Ermittlung der Dichte kann bei bekanntem Volumen leicht durch eine angeschlossene Waage erfolgen. Veränderungen der Dichte können aber auch indirekt anhand von Veränderungen der Preßkraft an Unter- und/oder Oberstempeln bis zum Erreichen der Soll-Preßendstellung, d. h. bis zum Erreichen des Soll-Volumens des Preßkörpers festgestellt werden (vgl. DE 29 51 716 C2 oder DE-G 91 02 414.5). Eine Verbesserung durch das erfindungsgemäße Verfahren ergibt sich bereits dann, wenn die Regelabweichung nur summarisch erfaßt wird, was bei der Dichtebestimmung über die Gewichtsermittlung und beispielsweise auch dann der Fall ist, wenn nur die Gesamtpreßkraft aller Ober- oder Unterstempel gemessen wird.

Allein die Tatsache, daß die einzelnen Korrekturbeträge der Füllpositionen der Unterstempel nicht die gleiche Absolutgröße aufweisen, wirkt sich in Richtung einer Verringerung der Dichteunterschiede zwischen den einzelnen Stufen des Preßkörpers aus. In dieser einfachsten Ausführungsform der Erfindung können die dennoch eintretenden (im Vergleich zum bisherigen Verfahren verringerten) Dichteunterschiede innerhalb des Preßkörpers jedoch nicht im einzelnen erfaßt werden.

Dies ändert sich aber, wenn eine separate Preßkraft-erfassung an den einzelnen Unterstempeln vorgenommen wird. Erfindungsgemäß wird daher der gemäß Patentanspruch 1 in erster Näherung durchgeführten Regelung eine verfeinerte Regelung überlagert, bei der die Korrekturgrößen für die Füllhöhen der Unterstempel individuell in ihrer Höhe auch unter Berücksichtigung der jeweils ermittelten Einzelpreßkraft des betreffenden Unterstempels festgelegt wird. Je nach Größe und Richtung der Preßkraftabweichung von dem Soll-Bereich der Preßkraft erfolgt eine im Vergleich zu anderen Unterstempeln über- bzw. unterproportional starke Einstellung der einzelnen Korrekturwerte. Diese Einzelregelung vermag auch den Einfluß von Materialverschiebungen zwischen den (über den Preßflächen befindlichen) Pulversäulen während des Verdichtungsvorgangs zu kompensieren. Die Korrektur der Füllhöhen erfolgt zweckmäßigerweise nicht in einem einzigen Schritt sondern iterativ in kleinen Näherungsschritten über mehrere Preßzyklen hinweg. Dies ist im Interesse einer stabilen Regelung wünschenswert und ohne wei-

teres auch tolerierbar, da sich die Füllichte des zu verpressenden pulverförmigen Materials in der Regel nicht sprunghaft sondern allmählich ändert.

Da sich die Hübe der Unterstempel zwischen Füllstellung und Preßstellung durch die Füllhöhenkorrektur verändern, müssen die Preßgeschwindigkeiten analog den Hubänderungen angepaßt werden, um die relativen Pulvermengen, die zwischen benachbarten Pulversäulen während des Verdichtungsvorganges verschoben werden, nicht durch die Füllhöhenkorrektur zu beeinflussen.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand eines in der Figur in drei unterschiedlichen Situationen im Preßzyklus dargestellten schematischen Beispiels näher erläutert.

Die Teildarstellung 1 zeigt eine Matrize 1, die einen Formhohlraum 6 mantelförmig umgibt, wobei der Formhohlraum 6 nach unten durch drei koaxial ineinander angeordnete und relativ zueinander verschiebbare Unterstempel 2, 3, 4 abgeschlossen ist. Der innerste Unterstempel 4 weist eine Bohrung auf, durch die ein ebenfalls koaxial angeordneter Mittelstift 5 geführt ist, der bündig mit der Oberkante der Matrize 1 abschließt und in dem zu erzeugenden Preßkörper A ein entsprechendes Durchgangsloch schafft.

Die um dieses Preßwerkzeug herum angeordnete Presse, die die Bewegung der Matrize 1 und der Preßstempel 3, 4 und gegebenenfalls auch 2 bewirkt, ist ebenso wie die zugehörige elektronische Steuerung zur Vereinfachung nicht dargestellt worden. Wenn die Unterstempel 2, 3, 4 ihre Füllposition, also ihre oberen Stirnflächen (Preßflächen) den vorgegebenen Sollabstand von der Matrizenoberkante erreicht haben, weist der Formhohlraum 6 ein vorgegebenes Füllvolumen auf. Dann kann ein nicht dargestellter Füllschuh über die Matrizenoberkante über den Formhohlraum 6 geschoben werden, wobei das Füllvolumen vollständig bis zur Matrizenoberkante mit dem zu verpressenden pulverförmigen Material gefüllt wird.

Nach Entfernung des Füllschuhs beginnt der eigentliche Preßarbeitsgang, wobei zunächst ein Oberstempel 7, der eine dem Mittelstift 5 entsprechende Bohrung aufweist, in Richtung der Unterstempel 2, 3, 4 abgesenkt wird und in die Matrize 1 eintaucht. Im vorliegenden Fall ist der äußere Unterstempel 2 feststehend, während die beiden inneren Unterstempel 3, 4 axial beweglich sind mittels lageeregelter Hydraulikantriebe, die von der elektronischen Steuerung gesteuert werden. Nach dem Eintauchen des Oberstempels 7, der bei einem anders geformten Preßkörper entsprechend dessen Soll-Oberfläche (ähnlich wie die Unterstempel 2, 3, 4, auch aus mehreren unabhängig bewegbaren Oberstempeln bestehen könnte, werden die Matrize 1, die beweglichen Unterstempel 3, 4 und der Oberstempel 7 bis in ihre Preßendstellung nach unten bewegt. Die Bewegungen erfolgen dabei mit verschiedenen, aufeinander abgestimmten Geschwindigkeiten in der Weise, daß in bezug auf das eingefüllte Volumen des pulverförmigen Materials Ober- und Unterstempel 2, 3, 4, 7 möglichst gleichförmig von beiden Seiten das Pulver verdichten. Da im vorliegenden Fall der Unterstempel 2 feststeht, muß zur Minimierung der Mantelreibung an der Matrize 1 diese ein Stück mit nach unten bewegt werden, wie dies aus den eingezeichneten Bezugslinien in der Position III für die Preßendstellung in der Figur dargestellt ist.

Bei einer nach dem Gegenpreßverfahren arbeitenden Presse würde die Matrize unbeweglich bleiben, während Ober- und Unterstempel aufeinanderzubewegt

würden. Relativ zum Preßkörper finden jedoch unabhängig vom Preßverfahren gleichartige Bewegungen statt. Man erkennt, daß gegenüber der Füllstellung I in der Preßendstellung III die einzelnen Stempel unterschiedliche Wege zurückgelegt haben. Es lassen sich relative Wege (bezogen auf die Pulvermasse) bestimmen, indem der zurückgelegte Weg der Matrize 1 von dem zurückgelegten Weg des jeweiligen Stempels subtrahiert wird.

Dadurch ergibt sich für den Unterstempel 2, der die höchste Pulversäule zu verdichten hat, der längste relative Weg (= Matrizenweg). Für den mittleren Unterstempel 3, der die niedrigste Pulversäule verdichtet, ist zwar der tatsächliche Weg der längste aller Unterstempel 2, 3, 4, jedoch ist der relative Weg des Unterstempels 3 der kürzeste.

Wenn nun aufgrund einer Gewichtsbestimmung nach einem Preßzyklus oder aufgrund der Erfassung der Preßkraft am Oberstempel 1 und/oder an den Unterstempeln 2, 3, 4 und eines Vergleichs mit entsprechenden Soll-Preßkräften eine unzulässige Abweichung der Dichte des erzeugten Preßkörpers 8 von einem vorgegebenen Sollwert festgestellt wird, greift die elektronische Steuerung in einem anschließenden Preßzyklus mit einer entsprechenden Korrektur des Füllvolumens ein. Bei zu geringer Dichte wird das Füllvolumen erhöht und bei zu hoher Dichte vermindert. Der Fall einer Erhöhung des Volumens des ursprünglichen Formhohlraums 6 auf das korrigierte Volumen des Formhohlraums 6' ist als Position II in der Figur dargestellt. Man erkennt, daß hierzu nicht allein die Matrize 1 um den Betrag a gegenüber der ursprünglichen Füllposition angehoben wird, wie dies bei dem bekannten Verfahren der Fall war, wodurch alle über den Preßflächen der Unterstempel befindlichen Pulversäulen um jeweils denselben Betrag vergrößert wurden.

Vielmehr wird die Füllposition erfindungsgemäß individuell für jeden Unterstempel 2, 3, 4 eingestellt. Da der Unterstempel 2 unbeweglich ist, wird dessen Füllposition allein durch die Matrize 1 bestimmt. Der Unterstempel 3 wird um einen Betrag b und der Unterstempel 4 um einen Betrag c angehoben. Dies bedeutet, daß die effektive Füllhöhenkorrektur (im Hinblick auf den Abstand der Preßfläche von der Matrizenoberkante) mit dem Betrag $a - b$ für den Unterstempel 3 am geringsten und für den Unterstempel 2 mit dem Betrag a am größten ausgefallen ist, während der Korrekturwert für den Unterstempel 4 mit $a - c$ dazwischenliegt.

Somit verhalten sich die Korrekturwerte entsprechend den Sollhöhen der Stufen des zu erzeugenden Preßkörpers 6. Diese Regelstrategie stellt die erste Stufe des erfindungsgemäßen Verfahrens dar und läßt bereits einen wesentlichen Teil der angestrebten Ziele erreichen.

Eine weitere Verbesserung der Erfindung ergibt sich für den Fall, daß die Preßkräfte jedes einzelnen Unterstempels 2, 3, 4 erfaßt (z. B. mittels Dehnungsmeßstreifen) und von der elektronischen Steuerung mit vorgegebenen Sollwerten verglichen werden. Hierdurch ergeben sich Hinweise auf mögliche Dichteunterschiede zwischen den Pulversäulen benachbarter Unterstempel, so daß im Sinne einer überlagerten Regelung zusätzlich auch solche Unterschiede minimiert werden. Dadurch sind auch Effekte infolge von Verlagerungen des Pulvers innerhalb des Formhohlraums während des Verdichtungsvorgangs beherrschbar.

Durch die Erfindung ist es möglich, Preßkörper aus pulverförmigem Material, insbesondere aus Metallpul-

ver, mit konstantem Volumen und weitestgehend konstanter Dichte herzustellen, wobei Dichteunterschiede innerhalb des Preßkörpers minimiert werden. Dies ist für die Herstellung präziser Formteile mit hoher Dichte und komplizierter Form zur Vermeidung von Ausschuß insbesondere infolge von Rißbildungen beim Ausformen des Preßkörpers von großer Bedeutung.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von mehrstufigen Preßkörpern aus pulverförmigem Material, insbesondere aus Metallpulver, welches in einen von einer Matrize umgebenen Formhohlraum (Füllvolumen) eingefüllt und durch relativ zueinander bewegliche Unterstempel deren Preßflächen mit den Stufen des Preßkörpers korrespondieren, und mindestens einen relativ auf die Unterstempel zu bewegten Oberstempel verdichtet wird, wobei die Menge des eingefüllten pulverförmigen Materials durch Korrektur des Füllvolumens infolge entsprechender Veränderungen der Abstände der Preßflächen der Unterstempel von der Oberkante der Matrize (Füllhöhen der Unterstempel) auf einen Sollwert geregelt wird und wobei Sollwertabweichungen direkt (durch Gewichtsbestimmung am Preßkörper, oder indirekt (durch Preßkrafterfassung an Ober- und/oder Unterstempeln) automatisch ermittelt werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Korrektur des Füllvolumens zur Erzielung möglichst gleicher Dichte in den verschiedenen Stufen des Preßkörpers durch jeweils unterschiedlich starke Veränderung der Füllhöhen der einzelnen Unterstempel in der Weise erfolgt, daß die Verhältnisse der korrigierten Füllhöhen in erster Näherung den Verhältnissen der Soll-Höhen der jeweils zugeordneten Stufen im Preßkörper entsprechen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die elektronische Steuerung die Preßkräfte der einzelnen Unterstempel erfaßt, jeweils mit der diesen zugeordneten Soll-Preßkraft vergleicht und bei Feststellung überproportional großer Abweichungen an dem oder den betroffenen Unterstempeln die Füllhöhenkorrektur entsprechend überproportional groß einstellt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Füllhöhenkorrektur iterativ in mehreren Preßzyklen erfolgt.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Preßgeschwindigkeiten der Preßstempel in der Weise abgestimmt werden, daß diese ihre jeweilige Preßendstellung zum gleichen Zeitpunkt erreichen wie vor der Füllhöhenkorrektur.
5. Presse zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, mit einer ortsfesten oder in Preßrichtung bewegbaren Matrize (1), die einen Formhohlraum (6, 6') umgibt, mit einer Füllvorrichtung zur Befüllung des Formhohlraums (6, 6') mit pulverförmigem Material, insbesondere Metallpulver, mit mindestens einem Oberstempel (7) und mehreren relativ zueinander hydraulisch bewegbaren Unterstempeln (2, 3, 4), ferner mit einer Einrichtung zur Ermittlung der Preßkraft an mindestens einem Preßstempel (2, 3, 4, 7) und/oder einer Einrichtung zur Bestimmung des Gewichts der auf der Presse erzeugten Preßkörper (b) und mit einer elektroni-

schen Steuerung, die bei unzulässigen Abweichungen aufgrund eines Vergleichs der ermittelten Preßkraft oder des ermittelten Preßkörpergewichts mit vorgegebenen Soll-Werten die Größe des zu befüllenden Formhohlraums (6) korrigiert (6'), dadurch gekennzeichnet, daß die elektronische Steuerung in der Weise programmiert ist, daß die Füllhöhe über den Preßflächen der einzelnen Unterstempel (2, 3, 4) hydraulisch individuell veränderbar ist, wobei eine Veränderung des Volumens des zu befüllenden Formhohlraums (6, 6') zur Korrektur ermittelter Abweichungen so erfolgt, daß die korrigierten Füllhöhen in erster Näherung untereinander jeweils in einem Verhältnis stehen, welches dem jeweiligen Verhältnis der Stufenhöhen (Soll-Werte) am Preßkörper (6) entspricht.

6. Presse nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zur Preßkraftermittlung die Preßkraft jedes einzelnen Unterstempels (2, 3, 4) separat aufnimmt, an die elektronische Steuerung gibt und mit entsprechend zugeordneten Soll-Werten vergleicht und daß die elektronische Steuerung eine Programmierung aufweist, durch die bei im Vergleich zu anderen Unterstempeln (2, 3, 4) überproportional großen Abweichungen der Preßkraft an einzelnen Unterstempeln (2, 3, 4) die Füllhöhenkorrektur an diesen Unterstempeln (2, 3, 4) mit einem entsprechend überproportionalen Wert durchgeführt wird.

7. Presse nach einem der Ansprüche 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens die hydraulischen Antriebe für das Bewegen der beweglichen Unterstempel (3, 4) im Sinne lagegeregelter Preßachsen ausgebildet sind.

8. Presse nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Matrize (1) zur Einstellung des Abstands der Matrizenoberkante von der Preßfläche eines feststehenden Unterstempels (4) lagegeregelt hydraulisch verfahrbar ist.

9. Presse nach einem der Ansprüche 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die elektronische Steuerung eine Programmierung aufweist, die die Geschwindigkeiten beim Verfahren der bewegbaren Unterstempel (3, 4) und (bei Vorhandensein einer bewegbaren Matrize (1)) die Geschwindigkeit der Matrize (1) während des Preßvorgangs derart aufeinander einstellen, daß die Unterstempel (3, 4) zum gleichen Zeitpunkt in ihre jeweilige Preßendstellung gelangen wie vor der Füllhöhenkorrektur.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

